Revisión bibliográfica de estrategias para gestión de residuos en plantas industriales

Literature review of waste management strategies in industry

Anderson Suquisupa Villacis[a], Milena Morales Núñez[a], Aldo Parrales León[a], Marianela Morante Galarza[b]
[a]Faculty of Industrial Engineering, University of Guayaquil. Guayaquil, Ecuador, 090112
[b]Faculty of Science, *Casa Grande* University. Guayaquil, Ecuador, 090114
Corresponding author: anderson.suquisupav@ug.edu.ec

Vol. 02, Issue 01 (2023): July
DOI: https://doi.org/10.53591/easi.v2i1.2188
ISSN 2953-6634
Submitted: June 29, 2023
Revised: July 17, 2023
Accepted: July 18, 2023

Engineering and Applied Sciences in Industry
University of Guayaquil. Ecuador
Frequency/Year: 2
Web: revistas.ug.edu.ec/index.php/easi
Email: easi-publication.industrial@ug.edu.ec

How to cite this article:
Suquisupa, A. et al. (2023). Revisión bibliográfica de estrategias para gestión de residuos en plantas industriales. *EASI: Engineering and Applied Sciences in Industry*, 2(1), 17-33. https://doi.org/10.53591/easi.v2i1.2188

Resumen. Se constituye como una necesidad aportar en la gestión de residuos de plantas industriales como un aspecto fundamental para contribuir a la sostenibilidad ambiental, a la vez que se cumple con las regulaciones vigentes. El objetivo general de este estudio fue resumir las prácticas de gestión de residuos en plantas industriales mediante la aplicación de un mapeo sistemático de la literatura en bases de datos de citas (Redalyc, Scopus y Web of Science). Estas estrategias incluyen la reducción en la fuente, para minimizar la generación de residuos mediante la optimización de los procesos productivos, y la reutilización de residuos, donde los materiales descartados se utilizan nuevamente en otros procesos industriales. Además, se analizaron las prácticas de gestión de residuos peligrosos en plantas industriales incluido el reciclaje. Entre las recomendaciones técnicas destacan el almacenamiento adecuado de los residuos, su transporte seguro y la disposición final controlada en instalaciones especializadas. En conclusión, la gestión de residuos en plantas industriales involucra estrategias y prácticas que buscan minimizar la generación de residuos, promover la reutilización y el reciclaje, y garantizar la disposición adecuada de los residuos peligrosos.

Palabras claves: residuos, gestión, economía circular, ambiental

Summary: Waste management strategies to provide sustainable solutions in industry processes to accomplish current regulations are crucial in industrial engineering. The general objective of this study was to summarize waste management practices in industrial plants by applying a systematic mapping of literature in citation databases (Redalyc, Scopus, and Web of Science). First, a scoping review led the process to determine current waste management practices in industrial plants. The analysis of hazardous waste management practices includes minimization, recycling, and reuse. The general approach is focused on the facilities to promote safe waste storage, transport, and final disposal.

Keywords: waste, management, circular economy, environmental

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos en plantas industriales se ha vuelto cada vez más relevante debido a las crecientes preocupaciones ambientales y la necesidad de adoptar prácticas sostenibles en la industria, todo esto como respuesta al notable incremento de actividades industriales en los últimos años, principalmente en países desarrollados de Europa y América (Castro et al., 2021).

Normalmente, se suele asociar de manera directa el progreso industrial y tecnológico de un país con el bienestar de sus habitantes; no obstante, esta relación no se cumple en todos los escenarios. El progreso en cuanto al desarrollo industrial en una nación no necesariamente implica una mejor calidad de vida para sus habitantes, por cuanto el beneficio siempre termina siendo para la industria debido al daño que estas producen a largo plazo a la población por la generación de residuos (Barton & Ainerua, 2020).

Abordando, la temática central, se estima que en el 2022 las plantas industriales generaron aproximadamente 2020 millones de toneladas de residuos, y se prevé que esta cifra aumente a 3400 millones de toneladas de residuos para el 2050, tal como se observa en la Figura 1.

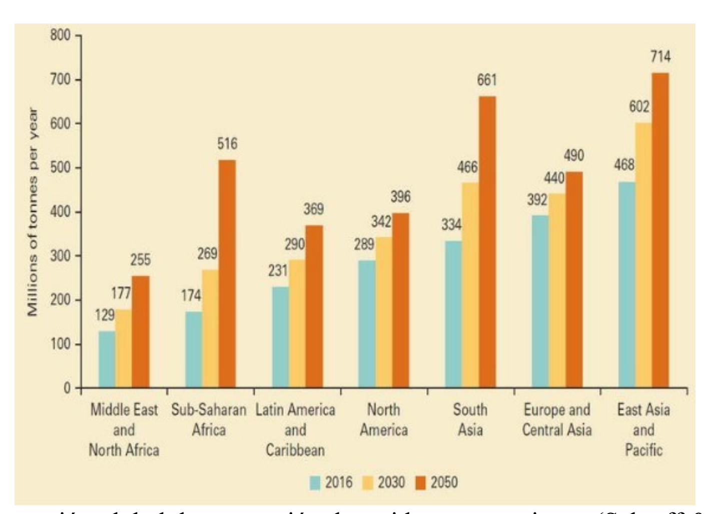


Figura 1. Proyección global de generación de residuos por regiones (Scharff & Kok, 2007).

Este incremento desmesurado amenaza fuertemente al medio ambiente, acelerando su contaminación y, por ende, contribuyendo a que los daños causados por el cambio climático aumenten. Es por todo lo anteriormente mencionado que un factor que se ha convertido en prioridad para el mundo, especialmente para las plantas industriales, es el tema de la sostenibilidad (Cheng et al., 2016).

Los desechos industriales son residuos no deseados que se generan como resultado de las actividades llevadas a cabo en el ámbito industrial. Estos residuos son considerados como desechos en la industria ya que no tienen utilidad en el proceso de fabricación y, por ende, son descartados. Es importante destacar que la cantidad de desechos industriales generados es mucho mayor a la cantidad los desechos municipales (desechos domésticos) en cada etapa del proceso de fabricación genera residuos (Valdés et al., 2019).

En la Tabla 1 se puede apreciar un resumen de los desechos típicos generados por algunos sectores industriales; sin embargo, cabe recalcar que las principales industrias generadoras de desechos son las industrias metalúrgicas, no metalúrgicas y de procesamiento de alimentos (Olivares et al., 2018).

Tabla 1. Tipo de residuos industriales según sector industrial

Sector industrial	Descripción/procesos industriales	Residuos típicos generados
Minas y canteras	Extracción, beneficio y procesamiento de minerales	Relaves, fosfoyeso, lodos, roca sólida y escorias
Energía	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	Escoria de caldera, cenizas volantes, cenizas de fondo, lodos, partículas y aceites usados
Fabricación	Químico	Lodos, catalizador usado, solventes químicos, desechos reactivos, álcali, aceites usados, cenizas y desechos de partículas
	Alimentos	Envases, cartón y plástico
	Textil	Pigmentos, peróxido, desechos textiles, álcali, estabilizador orgánico, solventes químicos, metales pesados y lodos Disolventes
	Papel	químicos, lodos, desechos de madera y álcali
Construcción	Actividades de demolición y construcción	Vidrio, yeso, bloques de cemento, hormigón, mampostería, yeso, tejas de madera, asfalto, metales y pizarra
Servicios de aguas residuales	Abastecimiento, captación y tratamiento de agua	Lodos usados y adsorbentes

Fuente: (Martínez Prats et al., 2019)

A continuación, se señalan algunos residuos generados en operaciones industriales, establecidos a partir de la frecuencia con que se los aborda en artículos científicos.

Residuos industriales peligrosos

Cuando se habla de residuos industriales peligrosos se refiere a desechos que son perjudiciales para la vida, representado una amenaza significativa para la salud humana, el medio ambiente y la vida silvestre. Además, también representan un riesgo para la industria mismo, ya que, de no ser tratados y gestionados de una manera correcta, los efectos de peligrosidad se pueden producir en la industria (Morcillo, 2022).

Por lo general, este tipo de residuos peligrosos se encuentran en industrias químicas; sin embargo, la industria del cuero también se encuentra entre uno de los principales contaminantes del medio ambiente con este tipo de residuos, pudiéndose observar en la tabla 2 los principales agentes peligrosos utilizados en la elaboración de cuero.

Tabla 2. Químico tóxico, fórmula y órganos afectados

Químico tóxico	Fórmula química	Órganos afectados
Antraceno	C_4H_{10}	Afecta principalmente al hígado, riñón, corazón. También presenta células cancerígenas y afecta a los ojos. En el caso de los hombres, daña el aparato reproductor.
Colorantes azoicos (anaranjado II)	$C_{16}H_{11}N_2NaO_4S$	
Fulfato de bencilo y butilo	$C_{19}H_{20}O_4$	
Flalato de bis	$C_{24}H_{38}O_4$	

Fuente: (Dehghani et al., 2021)

Residuos industriales no peligrosos

Los residuos industriales no peligrosos son aquellos que se generan a partir de la producción de bienes y/o productos y que no representan un daño inmediato para la salud humana; sin embargo, a largo plazo sí conllevan al

daño para el medio ambiente debido a las emisiones de metano que se producen durante su descomposición. Además, se suelen representar en forma sólido y/o semisólida, como por ejemplo desechos de cartón, caucho, papel, pulpa, productos químicos inorgánicos no peligrosos, entre otros (Arockiam JeyaSundar et al., 2020).

Residuos industriales sólidos

Los residuos sólidos son todos aquellos materiales que son desechados por la industria en alguna etapa del proceso y que carecen de valor. Conforman la mayor parte de los residuos generados por industrias y, además, al ser materiales palpables, ocupan un gran volumen cuando son desechados (Cortez Suarez et al., 2022). En las industrias, los residuos sólidos se pueden presentar como residuos de polvo, cáscaras de alimentos, productos con falencias y cualquier otro tipo de desechos generado en el proceso de producción, ya sea fundición de metales, producción de energía eléctrica, industria química, industria alimentaria, etc. Si bien es cierto, existe la posibilidad de que los residuos industriales sólidos sean degradables, pero en gran cantidad y con un mal tratamiento son potenciales contaminantes del mundo (Li et al., 2020). En este grupo de desechos están los residuos generales, como lodo, yeso cenizas volantes, etc., pero también existen los desechos peligrosos, como cenizas de aluminio, desechos de incineración de la basura doméstica, etc.

Residuos industriales líquidos

Los residuos industriales líquidos hacen referencia a los fluidos que se generan como parte del funcionamiento de una industria y que son liberados fuera de la instalación, ya sea a través del sistema de alcantarillado o hacia cuerpos de agua en la superficie (Sivaram & Barik, 2018). En la industria se diferencian cuatro fuentes de residuos industriales líquidos: aguas residuales de procesos, aguas de lavado, aguas de enfriamiento y consensado y residuos naturales domésticos (como baños, lavabos, etc.). Los residuos industriales líquidos contaminan el medio ambiente a través de la filtración de fluidos a la tierra, o, en otro caso, porque las industrias depositan directamente estos fluidos contaminados a ríos, lagos, océanos, etc., sin considerar la naturaleza del fluido, ya que puede ser de tipo peligroso y contaminar el agua, convirtiéndola en no bebible y dañando gravemente al que la consume (Ibrahim et al., 2022).

La unión de todos estos componentes está presente de manera constante y muy pronunciada en las aguas residuales, por lo que, en caso de no ser tratadas correctamente, representan un riesgo directo e indirecto para el medio ambiente (Nai et al., 2021).

Residuos industriales gaseosos

Los desechos industriales gaseosos son aquellos residuos que mantienen este estado de la materia a temperaturas normales. El daño que producen los residuos industriales gaseosos dependerá de la naturaleza de este; por ejemplo, los desechos que contienen carbono son los principales responsables del calentamiento global y el cambio climático; mientras que los que tienen nitrógeno provocan la lluvia ácida, contaminan el agua, etc. (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), 2018) No obstante, cabe recalcar que este tipo de residuo es perjudicial para la humanidad y el medio ambiente.

Residuos industriales biodegradables

Los residuos industriales biodegradables son aquellos que se descomponen mediante la acción de microorganismos en sustancias no perjudiciales para la naturaleza, convirtiéndose en materia inofensiva con el pasar del tiempo que incluso puede servir de abono para el suelo (Vallero & Shulman, 2019). Normalmente, este tipo de desechos es generado, entre otros, por industrias de ámbito alimentario, agrícola, mataderos. Algunos ejemplos de residuos industriales biodegradables son: huesos de animales, frutas descartadas, lana, y demás.

Residuos industriales no biodegradables

Corresponden a los materiales que no pueden ser descompuestos en sustancias no venenosas por medio de bacterias y que, por lo contrario, su descomposición demora mucho tiempo y causa daños a corto/largo plazo en el ecosistema (Román Brito-Carvajal, 2021). En este grupo es normal que participen industrias de procesamiento de materiales, especialmente las de plástico, latas; entre otros.

Esto se debe a la capacidad que tienen de entrar a las células de las plantas, animales o seres humanos, depositando de este modo los químicos en los espacios intracelulares del huésped (Chugchilan Cuichan, 2020).

Cuando los métodos de eliminación de desechos no se llevan un control ni un seguimiento periódico, los residuos comienzan a descomponerse de más, pudiendo generar una infestación microbiológica, la contaminación del aire o la proliferación de bacterias (Jiménez González & Carrasco, 2021). Es por esto que dentro de los riesgos ocasionados por la mala gestión de residuos industriales se reconocen tres principales perjudicados: el medio ambiente, el hombre y la vida silvestre.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sustentándose en revisión bibliográfica de repositorios de artículos científicos hasta el 2018, se revisó el contenido en base a palabras claves relacionadas con 'prácticas en la gestión de residuos de plantas industriales', con la finalidad de establecer aquellas que más se recomiendan en función a los resultados obtenidos. El método de revisión del alcance presenta la siguiente estructura:

- Definir el objetivo de la revisión bibliográfica: Se determinó claramente el tema/problema del artículo científico relacionado con la gestión de residuos industriales y sostenibilidad.
- Identificar palabras clave: Se analizó las referencias bibliográficas y extrajo las palabras clave que se repiten con mayor frecuencia. Estas palabras clave ayudaron a realizar búsquedas más eficientes en bases de datos científicas.
- Realizar búsqueda bibliográfica: La población se definió a las bases de datos científicas por su rigurosidad académica, a manera de muestra por conveniencia a Redalyc, Scopus o Web of Science para buscar artículos científicos relevantes, contrastando dos de los repositorios más usados a nivel mundial con un repositorio regional.
- Filtrar y seleccionar artículos: Se utilizó las palabras clave identificadas en el paso anterior y combinó de diferentes formas para obtener resultados más completos. Incluyó términos como "industrial waste management", "sustainable waste management", "waste treatment", entre otros, según sea necesario. Posteriormente se revisó los títulos y resúmenes de los artículos obtenidos en la búsqueda y seleccionó aquellos relacionados directamente con el objetivo de investigación, incorporando los siguientes criterios de exclusión: open acces, journal, del 2018 en adelante y artículos de revisión.
- Leer y analizar los artículos seleccionados: Se revisó a fondo los artículos seleccionados y tomó notas de aspectos más relevantes, como los objetivos del estudio, la metodología utilizada, los resultados obtenidos y las conclusiones. Identificó las similitudes y diferencias entre los estudios y buscó posibles lagunas en la literatura existente.
- Organizar la información: A partir del análisis de citas recibidas y de número de publicaciones de autores, se utilizó un sistema de organización, hoja de cálculo y software de gestión de referencias bibliográficas (Mendeley), para registrar la información relevante de cada artículo, como los autores, el título, el año de publicación, el método utilizado y los principales hallazgos. Esto facilitó la posterior redacción del artículo científico.
- Analizar la calidad de las fuentes: Se evalúo críticamente la calidad de los artículos seleccionados. Consideró aspectos como la reputación de las revistas científicas en las que se publicaron, incluidas/excluidas por el indicador de cuartiles, el rigor metodológico utilizado en los estudios y la relevancia de los hallazgos para la investigación.
- Sintetizar la información: Se identificó los principales temas, patrones o tendencias emergentes en los artículos revisados. Agrupó los hallazgos relacionados y resumió la información de manera clara y concisa.
- Escribir la revisión bibliográfica: Se utilizó la información sintetizada para redactar la revisión bibliográfica en tu artículo científico. Se citó correctamente todas las fuentes utilizadas siguiendo el estilo de citación requerido por la revista (EASI) a la que se enviará el artículo.
- Bibliografía: Se revisó bibliografía asegurando de que tenga coherencia, cohesión y claridad. Verificó que todas las referencias citadas estén incluidas en la lista de referencias bibliográficas al final del artículo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Un aspecto importante de mencionar, según la bibliografía revisada, es abordar los efectos que provocan los residuos industriales. Estos apuntalan aún más la importancia de contar con una gestión de residuos industrial, por cuanto afectan la salud humana, el medio ambiente, son potenciales generadores de demandas económicas por parte de comunidades ancestrales y objetos de sanciones por entes reguladores públicos locales o nacionales.

3.1. Efectos negativos sobre el medio ambiente

El medio ambiente se podría considerar como el principal afectado por la mala gestión de residuos industriales. Como ya se ha explicado anteriormente, la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano o el dióxido de carbono (CO2), son la problemática principal cuando se habla del calentamiento global (Tait et al., 2020). Si bien es cierto, el calentamiento global es inevitable y, a su vez, la contaminación del aire, suelo y agua, pero se puede retrasar el proceso con un buen manejo de estos desechos, ya que, cuando no se tiene un debido control sobre estos vertederos o depósitos de residuos, las consecuencias de esta amenaza se aceleran. Existen tres tipos de contaminación (Fig. 2):

- **Contaminación atmosférica:** Generalmente, se ocasiona por las partículas de desechos desprendidas por los diferentes métodos de eliminación de residuos, lo que conlleva también a la generación de malos olores debido a la proliferación de bacterias en la etapa de descomposición.
- **Contaminación hídrica:** Está dada más por el contacto directo de desechos industriales con el agua. En ocasiones, las plantas industriales desechan el agua utilizada en la planta y, sin ningún tratamiento, la depositan en los ríos, mares, etc., sin considerar la naturaleza del residuo y el daño que este genera al medio ambiente.
- **Contaminación del suelo:** Dado también por el contacto directo de, generalmente, residuos peligrosos con el suelo; ya que, muchas veces, los residuos biodegradables son utilizados como abono o transformados en confort.

3.2. Efectos negativos sobre la salud del ser humano

Los seres humanos pueden verse desfavorecidos por el contacto directo con el tipo de residuos como también indirectamente (Salmenperä et al., 2021). Probablemente, el ser humano sea el principal afectado por la contaminación medioambiental, debido a que en ocasiones existe la posibilidad de que los depósitos de residuos se alojen cerca de zonas residenciales, lo que desencadenaría riesgos físicos y de salud en el involucrado, perjudicando incluso al sentido auditivo.

Los efectos negativos sobre el ser humano dependen del tipo de contaminación generada (Fig. 2):

- **Enfermedades por contaminación atmosférica:** Probablemente son las repercusiones en la salud que se presentan con mayor frecuenta. Los riesgos que acontecen generalmente atacan al sistema respiratorio, generando enfermedades como: la gripe, asma, tos, dolor de garganta, entre otros. La suspensión de partículas en la capa de ozono, la emisión de gases de efecto invernadero o la circulación de los compuestos volátiles en el aire hacen posible el desarrollo de estas enfermedades en el ser humano.
- **Enfermedades por contaminación hídrica:** La proliferación de bacterias y/o parásitos, junto con los contaminantes químicos inmersos en los desechos atacan, entre otros, al sistema cardiovascular, a la piel en caso de contacto directo con una sustancia tóxica o peligrosa y al sistema gastroenterólogo, produciendo enfermedades como la cólera o infecciones estomacales.
- **Enfermedades por contaminación del suelo:** La contaminación a los suelos puede filtrarse a los cultivos, lo que provocaría la ingesta de alimentos contaminados, produciendo enfermedades similares a las ocasionadas por la contaminación hídrica. Además, el contacto directo con desechos tóxicos puede causar daños irreversibles a la piel, cáncer o incluso la muerte.

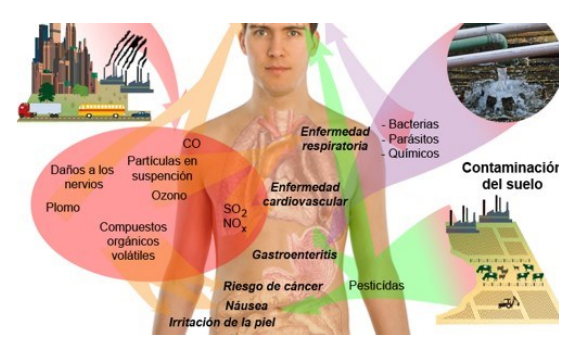


Figura 2. Principales afecciones en el ser humano (Consejo Nacional de Competencias, 2019)

3.3. Efectos negativos sobre la vida silvestre

La vida silvestre hace referencia a la flora y la fauna de un ecosistema. Diariamente los animales se exponen a toxinas, lo que afecta las vías respiratorias, llegando a causar hemorragia, infertilidad o la muerte en caso de contacto directo con contaminantes peligroso.

En el ámbito ambiental, es muy importante tener leyes o normativas que respalden al medio ambiente; a su vez, también es primordial que exista un marco jurídico institucional que formule y respalde estas normativas. En Ecuador, la legislación nacional que se encarga de la gestión de residuos sólidos se jerarquiza de la siguiente forma: Constitución de la República del Ecuador, Leyes, Reglamentos y Acuerdos Ministeriales y Ordenanzas Municipales (Figura 3).

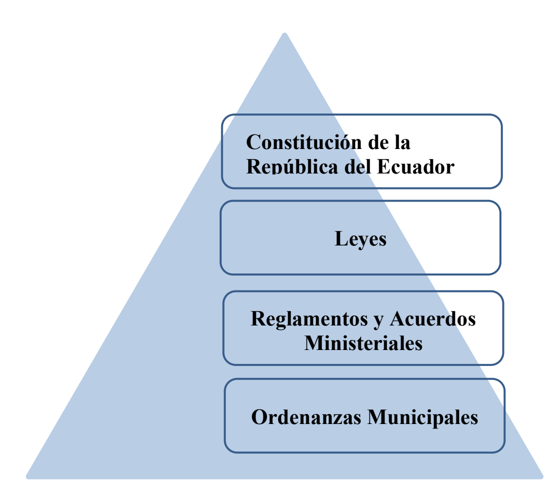


Figura 3. Jerarquía de la legislación ecuatoriana de residuos (Willskytt & Brambila-Macias, 2020)

La contaminación ambiental por el mal manejo de los desechos sólidos cada día se agrava más a nivel mundial. Los vertederos de residuos industriales, la incineración de desechos y los demás métodos de eliminación de residuos mencionados anteriormente, en caso de no ser tratados correctamente, representan, no solo una amenaza latente al medio ambiente, sino también un peligro para la inclusión social y sostenibilidad económica.

Los países desarrollados y en vía de desarrollo producen la mayor parte de los residuos industriales, teniendo como denominador común la mala gestión de estos desechos. Sin embargo, no todas las partes de estos países se ve afectada de la misma manera, ya que las zonas rurales tienden a ser las más perjudicadas debido a que, generalmente, los vertederos de residuos se instalan en aquellas zonas. No obstante, las zonas rurales de un país, al igual que las zonas desarrolladas, sufren consecuencias o limitaciones negativas en cuanto al ámbito económico, legislativo, político, técnico y operativo.

Los efectos negativos derivados de la inadecuada gestión de los residuos industriales sobre el ser humano, los animales y el medio ambiente han llevado a las industrias a tomar medidas para controlar y gestionar los residuos generados en sus instalaciones. Además de los impactos en la salud y el medio ambiente, las implicaciones económicas y legales, incluidos los posibles litigios en los tribunales de la comunidad anfitriona, respaldan los ingresos generados por la industria.

Entre los costos relacionados a los desechos que las industrias generan se encuentran: costos de adquisición de materiales, costos de manipulación y procesamiento, costos en caso de errores de fabricación, costos relacionados al control de seguimiento que se le da al producto, costos de almacenamiento, gestión de tiempo, entre otros costos.

Es posible lograr una correcta gestión de residuos; sin embargo, es necesario considerar y controlar algunos puntos, como lo son las características del desecho de la industria, tomar en cuenta que tipo de residuo es y que daños podría provocar al medio ambiente. Principalmente, estos estudios van dirigidos para compuestos que tienen en su composición o que liberan en su degradación dioxinas, las cuales son de gran interés porque afectan al sistema inmunitario del ser humano, logrando desarrollar un cáncer con el pasar de los años; además, también causan gran impacto negativo en el medio ambiente.

El análisis de estas características permite una comprensión más completa de los riesgos e impactos potenciales de los residuos industriales en el medio ambiente. A través de una evaluación adecuada, se pueden tomar decisiones

informadas sobre las estrategias de gestión y los métodos de eliminación más apropiados para minimizar los efectos perjudiciales.

En la figura 4 se puede apreciar algunas de las prácticas que las industrias han implementado para evitar que el desecho o eliminación de los residuos sea la primera opción.



Figura 4. Prácticas implementadas como alternativas para eliminar los desechos (Godswill, 2017)

3.4. Jerarquía en la gestión de residuos

En la gestión de residuos industriales, la eliminación de estos se considera como la última opción. Esto se debe a que las industrias tratan, en lo posible, de perder materiales o materia prima que consideran valiosa, por lo que antes de eliminar los residuos, optan por reutilizarlos y/o reciclarlos.

Los residuos que se generan en la industria tienen la propiedad de poder ser reutilizados. Teniendo como objetivos el enfoque hacia la salud, la seguridad, la preservación del ecosistema, la sostenibilidad y la generación de desechos más limpios, esto permite un marco llamado *Jerarquía de Gestión de Residuos* (Fig. 6).

En la Figura 6 se puede observar como la jerarquía posiciona aspectos, priorizando a los métodos de gestión de residuos cuyo principal respaldado con la tradicional idea de las 3R (reduce, reutiliza y recicla). Sin embargo, el enfoque de esta Jerarquía de Gestión de Residuos no es únicamente regirse bajo los métodos de reducción, reutilización y reciclaje, sino que se expande más allá de, con el fin de poder dar más alternativas y oportunidades a desechos que no entren dentro de esta clasificación, ya que, como empresa, uno de los principales intereses es disminuir gastos.

La Jerarquía de Gestión de Residuos ofrece orientación a las entidades responsables del correcto manejo de los residuos industriales. Asimismo, se brindan y exploran otras alternativas de reciclaje de residuos. Posterior al reciclaje, la actuación que formaría parte de la Jerarquía de Gestión de Residuos es la valorización energética de los mismos. Todas las alternativas prácticas mencionadas pueden observarse en la pirámide invertida, formada por seis etapas, que se muestra en la Figura 6.

Detallando un poco más lo que se observa en la Figura 5, es el objetivo principal de la Jerarquía de Gestión de Residuos es evitar la generación de residuos innecesarios, los mismos que pueden ocurrir por fallos en la fabricación de un producto o descartes de productos y/o materias primas por error. Esta etapa implica emprender acciones proactivas y eficientes para disminuir o eliminar el riesgo que tienen las empresas de desechar material por error, a su vez, la aplicación de estas acciones hará que el proceso de fabricación sea más eficiente y sostenible. La etapa de la reutilización consiste en aprovechar todos los residuos que son generados en el proceso de fabricación, para volverlos a utilizar de forma original y para un nuevo producto, ayudando así a evitar la necesidad de producir nuevos materiales.

El reciclaje, por otra parte, es una estrategia clave en la gestión de residuos. Al realizar esta acción, utilizan los materiales que fueron desechados para crear nuevos productos o materiales que se pueden comercializar. Esta práctica es una de las más importantes y sonadas, ya que contribuye a la conservación de los recursos naturales y a la reducción de la demanda que tienen las empresas para las materias primas nuevas. La valorización energética es una opción considerada cuando no es posible reciclar o reutilizar los residuos. Consiste en utilizar los residuos como fuente de

energía, mediante procesos como la incineración controlada con recuperación de calor, descubriendo así electricidad o calor útil.

La gestión de los residuos originados por las industrias es un tema de principal enfoque, ya que perjudican están relacionados directamente con la afectación a dos actores de principal interés actualmente: la contaminación y el cambio climático. Como ya se ha mencionado, la industria manufacturera produce millones de toneladas de residuos al año. Como solución a esta problemática se han tomado en cuenta ciertas estrategias que ayudan a gestionar los residuos industriales de una mejor manera, aplicando métodos como el reciclaje o la reutilización de desechos, para lograr que estos tengan una doble vida y, de ese modo, reducir la aglomeración de desperdicios. Cabe recalcar que la ejecución de estas estrategias también beneficia potencialmente a la empresa, reduciendo costos en materiales y, además, crea oportunidades de empleo.

Sin embargo, es muy común que esto se dé en la etapa de segregación, la cual va antes de la etapa de desechos. El fin de esta etapa es separar y clasificar los desechos según el tipo, considerando sus componentes y propiedades. No obstante, es común que los desechos sean una mezcla de materiales peligrosos y no peligrosos, inclusive se pueden tener una forma líquida. Esta práctica permite a las industrias ahorrar considerables cantidades de dinero en el proceso de eliminación, además de abrir nuevas oportunidades en el ámbito del reciclaje y reutilización de los desechos.

3.5. Gestión colaborativa de residuos y la economía circular

A diferencia de los desechos municipales (desechos domésticos), los desechos industriales, generalmente, son materiales considerados valiosos ya tienen la capacidad de ser reutilizados por la industria generadora de dicho residuo o también otras industrias. Un ejemplo de reutilización de recursos ocurre en los ingenios azucareros, en donde ellos utilizan la caña de azúcar para generar este producto, pero siempre hay un "desperdicio". Las técnicas de gestión de residuos como la reutilización, el reciclaje o el valor energético producido puede ser utilizado para beneficio de la industria que produce ese residuo o por otra industria que tiene la necesidad y la capacidad de utilizar estos residuos y logra darle un valor para fabricar recursos físicos o como fuente de energía.

El término Gestión Colaborativa de Residuos, en inglés *Collaborative Waste Management* (CWM), hace referencia a cuando una industria gestiona los residuos que son generados por otra industria, como en el ejemplo anterior, las industrias alcoholeras dan valor a los residuos de los ingenios azucareros. Esta colaboración se puede dar de modo directo, en donde el residuo de la industria A directamente conecta con el procesador de residuos de la industria B, o también puede darse por medio de un intermediario, como se muestra en la Figura 5.

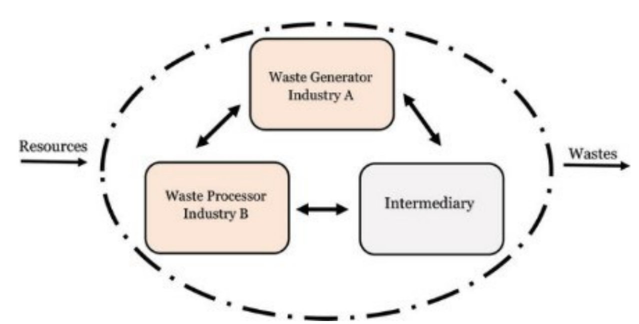


Figura 5. Colaboración dada por intermediarios en la gestión de residuos industriales (Godswill, 2017)

Un ejemplo de gestión colaborativa de residuos industriales. Se trata de todo un conjunto de industrias ubicadas en Kalundborg. Este ejemplo se puede observar en la Figura 6, se visualiza como existen varias industrias vecinas, como una fábrica de cemento, una refinería de petróleo, una industria productora de fármacos, una planta de energía y carbón, una industria constructora; y, una planta de placas de yeso. Todas las industrias mencionadas anteriormente, en dicha ubicación, trabajan juntas para utilizar y gestionar los residuos generados por la otra.

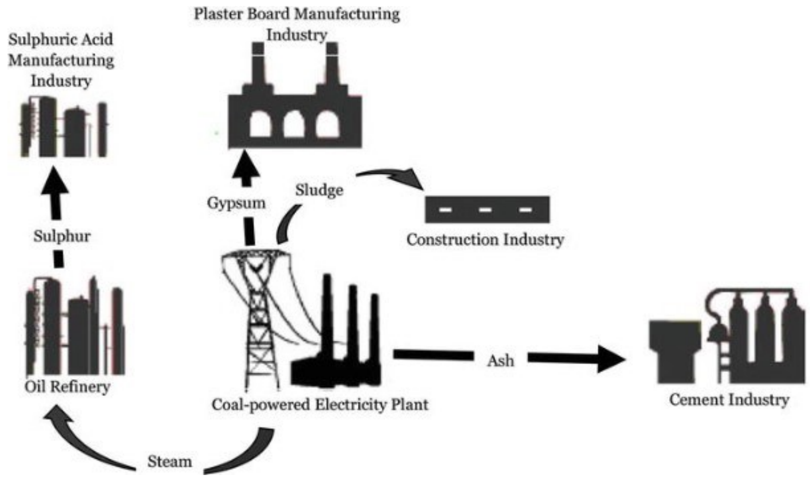


Figura 6. Gestión de residuos industriales colaboración entre industrias (Njoku et al., 2019)

En este sistema, los residuos como yeso, lodos, vapor y cenizas que son generados por la central eléctrica de carbón, son utilizados y valorados como materia prima en la fábrica de placas de yeso, la fábrica de construcción, la refinería de petróleo y la industria de cemento. Luego, por ejemplo, uno de los residuos generado por la refinería, el cual es el azufre, es utilizado por la fábrica que se encarga de la producción de ácido sulfúrico. Al trabajar juntas, estas industrias logran una sinergia donde los desechos de una industria se convierten en un recurso valioso para otra, cerrando el ciclo de materiales y reduciendo la dependencia de nuevas materias primas.

3.6. Reciclaje de residuos industriales

El reciclaje de residuos, también conocido como aprovechamiento de desechos, es la técnica que implica la reutilización de los materiales que son considerados como desechos, los mismos que se generan a durante el proceso de fabricación industrial y que tienen como finalidad producir productos terminados idénticos o completamente diferentes al primero. Esta práctica presenta múltiples ventajas, entre ellas disminuir la necesidad de fabricar una cantidad de materiales nuevos, lo que, a su vez, disminuye la cantidad de residuos depositados en vertederos, siendo esto de beneficio para el medio ambiente. El reciclaje, por lo general, se genera con residuos sólidos, por lo que en la industria se presentan numerosas oportunidades para llevar a cabo el reciclaje de residuos, y algunos de los residuos generados pueden ser reutilizados en actividades como la construcción y reparación de carreteras, la edificación de puentes, la fabricación de bienes de consumo, entre otras.

Diversas razones motivan a las industrias a reciclar sus residuos, como la reducción de la huella de carbono y la conservación de recursos, la obtención y el ahorro de dinero, el aprovechamiento de recursos y energía a través de máquinas de reciclaje, la disminución del costo total de eliminación, la mejora de la reputación de la industria/empresa, la creación de oportunidades laborales y la construcción de una marca en torno a la ecología, entre otros beneficios.



Figura 7. Proceso del reciclaje de residuos industriales (Mandpe et al., 2023)

3.7. Compostaje de residuos industriales

El compostaje corresponde al proceso dinámico, biológico y aeróbico que se da por medio de la estabilización de la materia orgánica que ocurre tras pasar por una fase termófila de degradación biológica, la misma que está dada por microorganismos que descomponen la materia. La fase termófila hace referencia a la temperatura a la cual estos microorganismos descomponen dicha materia. Se entiende por termófilo al microorganismo cuya temperatura ideal de reproducción está entre los 60 y 70°C, además, el proceso anaerobio hace referencia a que dicho microorganismo termófilo puede reproducirse sin presencia de oxígeno, un ejemplo de estos microorganismos descomponedores son las bacterias *Alicyclobacillus acidoterrestris*.

Por otra parte, el compostaje debe ser controlado, ya que existen parámetros que se deben monitorear, como la temperatura, el pH, relación C/N y el tamaño de la partícula. Si el proceso de compostaje se regula de manera correcta, el producto final será un compost de calidad, que será capaz de mejorar las características del suelo, aumentando la infiltración, la capacidad de retención de agua y la inercia térmica, además de favorecer el control natural de plagas y aportar nutrientes ideales para el crecimiento de la vegetación.

El compostaje de residuos industriales, o también conocido como el compostaje comercial, corresponde al tipo de reciclaje que se ejecuta cuando existen grandes niveles de residuos de tipo orgánicos y biodegradables, los cuales son aprovechados como mejoradores naturales del suelo, o también para ser utilizados como fertilizantes en la industria agrícola.

En la Figura 8 se puede observar que el compostaje de residuos industriales comienza por la generación de los residuos, en donde principalmente actúan industrias de fabricación de alimentos, tiendas comestibles, grandes restaurantes y otras instalaciones comerciales; luego, estos desechos son transportados al compostaje para luego ser clasificados según sus características y naturaleza (Gu et al., 2023). A continuación, la materia orgánica se transforma en compost y se analiza la calidad de esta para, como última etapa, ser aplicada en las diversas áreas. Sin embargo, una desventaja de este método es que se tiene que es necesario una gran capacidad territorial para las diferentes etapas que conlleva su aplicación, como la recepción, el tratamiento y la preselección. Además, un factor también crucial en este método es que los desechos desprenden muchos gases (especialmente dióxido de carbono CO_2).

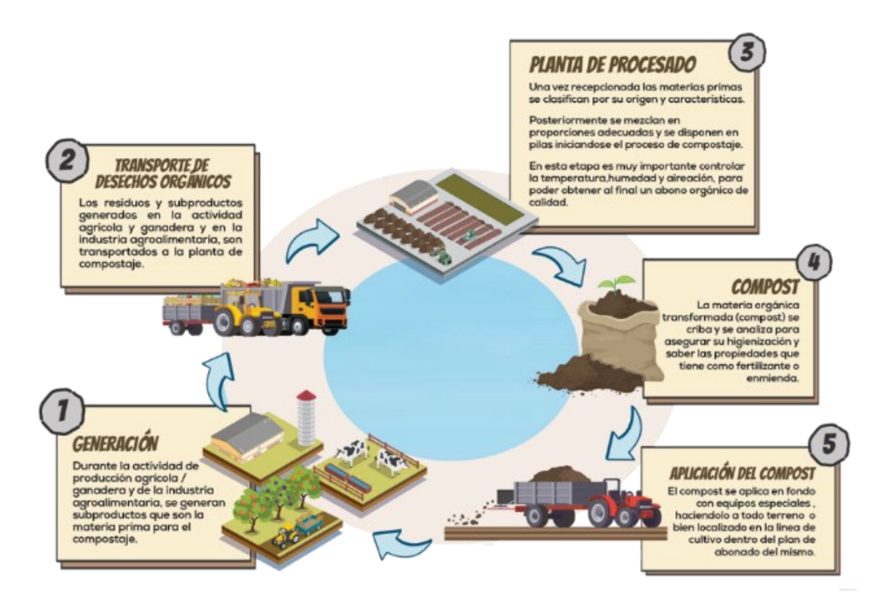


Figura 8. Proceso del compostaje de residuos industriales (*Diseño y Desarrollo de Estrategias Para La Gestión de Residuos Reciclables En La Zona de Influencia Del Centro Universitario Puerto de Mar Del Plata*, 2021)

3.8. Incineración de residuos industriales

Probablemente es la técnica más industrializada o tecnológica de todos los métodos que se están mencionando. La incineración de residuos industriales es un método que consiste en la eliminación de los residuos generados por las industrias mediante la quema de estos; esto se lleva a cabo con la intervención de gases de combustión, también

conocidos como gases de chimenea, junto con cenizas, para de ese modo producir energía térmica y utilizarla a beneficio propio.

Principalmente, el enfoque de este método es disminuir la cantidad de desechos industriales que se generan, para de ese modo contribuir con el ahorro de costos que se necesitan en un vertido (Sharkawi, 2015). Además, uno de sus objetivos también es procurar que no ocurra la liberación de sustancias químicas y tóxicas que afectan al medio ambiente, con la ventaja de que en su proceso se libera energía, la misma que puede ser utilizada para calefacción o, incluso, generación de electricidad.

En la Figura 9 se puede observar el proceso de la incineración de residuos industriales y, como última etapa, se tiene a la chimenea. Sin embargo, a las empresas les resulta muy conveniente debido a los grandes resultados que generan y la eficiencia que tiene; tomando en cuenta también una reducción considerable en el costo de su implementación.

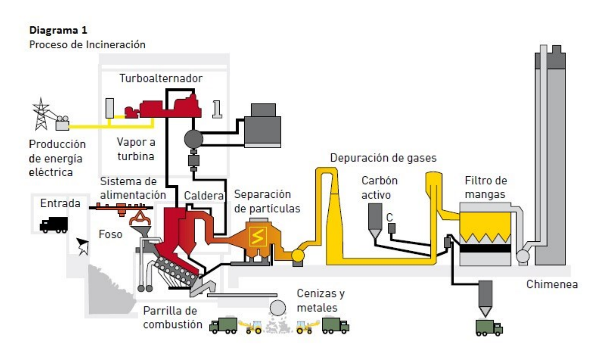


Figura 9. Proceso de incineración de residuos industriales (Negrete-Cardoso et al., 2022)

3.9. Vertederos de residuos industriales

El método de vertederos de residuos industriales, también conocido como relleno sanitario industrial, es el método de eliminación de residuos sólidos más común y ejecutado en todo el mundo. Aunque es aplicada también para los residuos domésticos, en el presente artículo únicamente se darán detalles de los vertederos de residuos industriales (Hole & Hole, 2019). Por lo general, las industrias tienden a usar vertederos industriales separados, para garantizar la eliminación de desechos tóxicos, de construcción, de molición, etc.

En la Figura 10 se puede observar un ejemplo de cómo se ve en la vida real un vertedero de residuos industrial, y aunque parezca muy sencilla su ejecución, la construcción de este requiere múltiples conocimientos de ingeniería, para de ese modo garantizar los parámetros de calidad y seguridad de la industria. Para la fabricación de un vertedero de residuos industrial es necesario, entre otros, un compactador o compresor, junto con una cubierta de plástico y un revestimiento de doble impermeabilidad; además, también es necesario un sistema de recolección de gas y lixiviados, un sistema de monitoreo de calidad para las aguas subterráneas.



-

Figura 10. Representación gráfica de un vertedero de residuos industrial. (UNEP/OCHA, 2011)

Sin embargo, este método de eliminación de residuos puede generar múltiples daños en el medio ambiente, debido a la generación de gases y a los lixiviados en el proceso de descomposición de los residuos. Los lixiviados son un tema de principal interés, ya que contienen propiedades contaminantes, principalmente para el suelo. Al generar contacto el suelo con este líquido de percolación se produce la degradación del suelo, perdiendo la capacidad de

fertilidad y disminuyendo la frondosidad de los ecosistemas, lo que concluye con la pérdida de biodiversidad (Awuchi et al., 2020). Es por esto por lo que hay que contar con un buen diseño que permita disminuir el riesgo de generación de lixiviados y la contaminación de suelo, agua y aire; ya que, los vertederos industriales cerrados también provocan contaminación en estos tres elementos del ecosistema.

Asimismo, también es necesario ver que tan propenso es el terreno para padecer inundaciones, el asentamiento que tiene el suelo y que tan urbanizado se encuentra, las condiciones culturales del sector, si es una zona protegida, que tan cercano está a las vías de conexión (carreteras, aeropuertos y/o vías férreas), incluso se considera la dirección del viento.

El diseño general para la instalación de un vertedero industrial debe incluir como mínimo las siguientes secciones:

- Área operativa en donde se dirigirán las diferentes operaciones
- Taller de vehículos e instrumentos
- Sistemas de control
- Iluminación, vallados, trincheras, entre otros
- Báscula puente para camiones que transportarán los residuos
- Laboratorio de análisis de muestras

Otro aspecto de suma importancia y que se debe tener en cuenta al momento de construir un vertedero de desechos industriales es el tema de las capas que conforman dicho relleno sanitario. En la Figura 11 se puede apreciar un esquema típico de los vertederos de residuos industriales, en donde se observan capas de diferentes tamaños, las mismas que son llamadas espacios excavado.

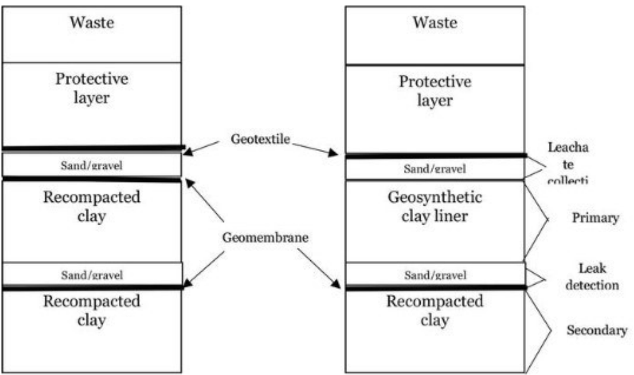


Figura 11. Representación gráfica de la estructuración de un vertedero de residuos industriales (Godswill et al., 2020).

Sin embargo, cuando se trata de desarrollo industrial tiende a ser un poco más difícil implementar este concepto en las prácticas operacionales del día a día (Menbere, 2019). Durante lo largo de la historia, la industria ha jugado un papel crucial en el ámbito social y económico, ya que es lo que permite que una nación se desarrolle y crezca exponencialmente en oportunidades, permitiendo así mejorar su economía y, además, asegurar un progreso futuro. No obstante, la contaminación del medio ambiente está ligada de manera directa con el desarrollo industrial, dando como resultado mayor generación de residuos sólidos y contaminantes.

Es por esto que se crearon una serie de principios del desarrollo sostenible, en donde se introducen 17 objetivos (Figura 12), los mismos que tienen como objetivos finales disminuir la pobreza, permitir que todas las clases sociales tengan las mismas oportunidades, disminuir la contaminación ambiental y hacer que una ciudad sea más habitable. El enfoque principal de un sistema de industria sostenible es minimizar la huella de carbono, manteniendo el crecimiento económico, el progreso social y la calidad de vida de sus habitantes

El enfoque de la eficiencia de recursos es asegurarse de que los recursos que han sido utilizados en la industria sean implementados de forma segura, conservadora y eficiente, evitando pérdidas y desperdicios innecesarios (Sundramurthy et al., 2021). Al racionar de esta manera los recursos se busca llegar a la productividad de éstos, por lo que los fabricantes deben optimizar el círculo de suministro, tomando en cuenta el método de extracción y recepción de las materias primas, la elaboración de los componentes, el diseño y fabricación de los productos y considerar también la organización de los mercados de retorno. En tal sentido, se recomienda considerar modelos comerciales innovadores y capaces de llevar un control sobre las operaciones industriales para que se garantice la implementación de la seguridad ambiental.

Para lograr un desarrollo industrial sostenible es necesario minimizar el impacto medioambiental que tiene la fabricación de productos y el desecho generado por las industrias, todo esto con la intención de prevenir la contaminación del aire, agua y suelo (Siles-Castellano et al., 2020). Como ya se ha detallado, la contaminación no es más que el resultado de la mala gestión de residuos, industriales y domésticos, los mismos que pueden ser reducción reutilizados y prevenidos para garantizar la protección del medio ambiente.

Cuando las industrias practican una buena gestión del manejo de residuos, los efectos negativos en la salud causados por las emisiones de los gases disminuyen notablemente. La industria química es uno de los principales contaminantes de la atmósfera, por lo que la gestión segura de productos químicos permitiría que se evite utilizar materias primas que no pueden reutilizarse, ya que al ser liberadas contaminan el agua, aire o suelo.

La implementación de un sistema de producción industrial sostenible tiene muchos beneficios. No es un secreto que el factor económico es, probablemente, el factor de mayor interés para una industria, ya que no se puede perder dinero (Gemar et al., 2021). El modelo de industria sostenible permite a la empresa ahorrar gastos operacionales, ya sea en energía, agua o materiales; además, también mejora la productividad laboral y, por ende, la calidad del producto final será mejor. Por otra parte, también promueve el desarrollo social y mejora la calidad de vida, garantizando siempre la protección del medio ambiente.



Figura 12. Objetivos del desarrollo sostenible (Ferronato & Torretta, 2019).

CONCLUSIONES

El objetivo planteado consistía en la revisión de distintas prácticas, usadas como estrategias, en materia de gestión de residuos en plantas industriales, por cuanto es un tema de gran importancia debido a su impacto en la contaminación y el cambio climático. La industria manufacturera genera una gran cantidad de residuos cada año, lo que ha llevado a la implementación de estrategias para gestionarlos de manera más eficiente, algunos de los cuales compartimos a continuación, discriminados por su recomendación en varios artículos científicos publicados en revistas de impacto mundial y regional:

La Gestión Colaborativa de Residuos como estrategia, juega un papel sumamente importante en la Economía Circular (EC), ya que abarca temas como la producción a través de la reutilización y valorización de recursos, reparación y restauración de materiales, intercambio y reciclaje de residuos que se aprovechan para generar nuevos productos industriales con el objetivo de mejorar el valor de las materias primas, principalmente a través de la economía circular. La economía circular tiene como objetivo darles valor a los residuos industriales, evitando verlos como simples desechos y procurando la reutilización de estos. Comienza con diferentes industrias trabajando juntas para aprovechar al máximo estos recursos, evitando así la necesidad de extraer y producir nuevas materias primas. Este enfoque promueve la sostenibilidad, la eficiencia y la conservación de los recursos al tiempo que reduce el impacto ambiental y los costos asociados con la eliminación de desechos.

El reciclaje de los residuos se ha convertido en una estrategia fundamental en la gestión sostenible de los recursos y en la protección del medio ambiente. Al darle una segunda vida a los materiales desechados, se evita la acumulación de residuos en vertederos y se reducen los impactos negativos asociados con la extracción y producción de nuevas materias primas. Además, el reciclaje contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y ahorro energético, ya que en muchos casos reciclar requiere menos recursos que producir el material desde cero.

La segregación de los residuos en la etapa inicial es un paso clave en su gestión. Esta práctica permite separar los componentes tóxicos, las fracciones líquidas y mantener alejadas las corrientes peligrosas de los desechos no peligrosos. Asimismo, la gestión colaborativa de residuos entre diferentes industrias ha demostrado ser una estrategia

efectiva, donde los desechos de una industria se convierten en recursos valiosos para otra, cerrando el ciclo de materiales y reduciendo la dependencia de nuevas materias primas

En cuanto a los métodos de eliminación de desechos, el reciclaje y el compostaje son técnicas ampliamente utilizadas en la gestión de residuos industriales. El reciclaje permite la reutilización de los materiales desechados, disminuyendo la necesidad de fabricar nuevos materiales y reduciendo la cantidad de residuos depositados en vertederos. Por su parte, el compostaje se utiliza para la descomposición de la materia orgánica y su posterior uso como mejorador del suelo o fertilizante en la industria agrícola.

La incineración controlada es otro método utilizado para la eliminación de residuos industriales, permitiendo la generación de energía térmica a partir de la quema de los desechos. Sin embargo, este método requiere un control adecuado de los gases de combustión y puede generar emisiones contaminantes.

Por último, la gestión de residuos en plantas industriales requiere la implementación de estrategias como el reciclaje, la reutilización y la gestión colaborativa de residuos. Estas prácticas promueven la sostenibilidad, reducen los impactos ambientales y los costos asociados con la eliminación de desechos, al tiempo que fomentan la eficiencia en el uso de los recursos. Es fundamental seguir explorando y desarrollando nuevas estrategias y tecnologías para una gestión más efectiva de los residuos industriales y contribuir así a la protección del medio ambiente.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores dejamos expresa constancia que no presentamos conflicto de intereses de ningún tipo con relación a la investigación titulada: *Revisión bibliográfica de estrategias para gestión de residuos en plantas industriales*, por lo que garantizamos la transparencia en el manejo de procesos y resultados de esta.

BIBLIOGRAFÍA

Arockiam JeyaSundar, P. G. S., Ali, A., Guo, di, & Zhang, Z. (2020). Waste treatment approaches for environmental sustainability. In *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. INC. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00006-1

Awuchi, C. G., Twinomuhwezi, H., Awuchi, C. G., Victory, I. S., & Amagwula, I. O. (2020). Industrial Waste Management, Treatment, and Health Issues: Wastewater, Solid, and Electronic Wastes. *European Academic Research*, *8*(2), 1081–1119. https://www.researchgate.net/profile/Chinaza-Awuchi/publication/341787291_Industrial_Waste_Management_Treatment_and_Health_Issues_Wastewater_Solid_and_Electronic_Wastes/links/5ed49f7592851c9c5e71e3f8/Industrial-Waste-Management-Treatment-and-Health-Issues

Barton, C. C., & Ainerua, M. O. (2020). Environmental toxicology: hazardous waste. In *Information Resources in Toxicology, Volume 1: Background, Resources, and Tools*. INC. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813724-6.00028-1

Castro, P. J., Aráujo, J. M. M., Martinho, G., & Pereiro, A. B. (2021). Waste management strategies to mitigate the effects of fluorinated greenhouse gases on climate change. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/app11104367

Cheng, Y.-L., Lee, C.-Y., Huang, Y.-L., Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénommée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., … Mathijssen, R. H. J. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, *11*(tourism), 13. https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics

Chugchilan Cuichan, J. (2020). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE FILOSOFÍA , LETRAS Y CIENCIAS DE LA CARRERA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ Manejo de residuos sólidos y líquidos en el centro de mantenimiento automotriz " Plaza de Quito FAE " para evitar la contaminación ambiental Tra*. 80.

Consejo Nacional de Competencias (CNC). (2019). Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, *1*(2), 1–64. http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-Manejo-desechos-solidos-2.pdf

Cortez Suarez, L. A., Petroche Torres, D. J., Camba Ramirez, W. E., & Mariscal Santi, W. E. (2022). Comportamiento compostable y biodegradable de bioplásticos producidos con desechos agrícolas. *Reciamuc*, *6*(3), 546–555. https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.546-555

Dehghani, M. H., Omrani, G. A., & Karri, R. R. (2021). Solid Waste—Sources, Toxicity, and Their Consequences to Human Health. *Soft Computing Techniques in Solid Waste and Wastewater Management*, *January*, 205–213. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824463-0.00013-6

Diseño y desarrollo de estrategias para la gestión de residuos reciclables en la zona de influencia del Centro Universitario Puerto de Mar del Plata. (2021).

Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(6). https://doi.org/10.3390/ijerph16061060

Gemar, G., Soler, I. P., & Sánchez-Teba, E. M. (2021). Waste management: Valorisation is the way. *Foods*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/FOODS10102373

Godswill, A. C. (2017). Industrial Waste Management: Brief survey and advice to cottage, small and medium scale industries in Uganda Industrial Waste Management: Brief survey and advice to cottage, Small and Medium Scale Industries in Uganda Department of Biological and Envi. *International Journal of Advanced Academic Research | Sciences, Technology & Engineering*, *3*(1), 26–30.

Godswill, A. C., Gospel, A. C., Otuosorochi, A. I., & Somtochukwu, I. V. (2020). Industrial And Community Waste Management: Global Perspective. *American Journal of Physical Sciences*, *1*(1), 1–16. https://doi.org/10.47604/ajps.1043

Gu, J., Liu, X., & Zhang, Z. (2023). Road base materials prepared by multi-industrial solid wastes in China: A review. *Construction and Building Materials*, *373*(February), 130860. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130860

Hole, G., & Hole, A. S. (2019). Recycling as the way to greener production: A mini review. *Journal of Cleaner Production*, *212*, 910–915. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.080

Ibrahim, M. H., El-Naas, M. H., & Banerjee, A. (2022). Treatment of petroleum industry wastewater: current practices and perspectives. *Petroleum Industry Wastewater: Advanced and Sustainable Treatment Methods*, 1–6. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85884-7.00015-1

Jiménez González, T., & Carrasco, A. M. (2021). *Trabajo Fin de Grado Ingeniería Química Generación de lixiviados en vertederos*.

Li, X., Chertow, M., Guo, S., Johnson, E., & Jiang, D. (2020). Estimating non-hazardous industrial waste generation by sector, location, and year in the United States: A methodological framework and case example of spent foundry sand. *Waste Management*, *118*, 563–572. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.056

Mandpe, A., Paliya, S., Gedam, V. V., Patel, S., Tyagi, L., & Kumar, S. (2023). Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. *Waste Management and Research*, *41*(3), 499–511. https://doi.org/10.1177/0734242X221126718

Martínez Prats, G., Tosca Vidal, C. M., & Juárez Domínguez, A. A. (2019). Impuestos ambientales sobre los desechos sólidos en Tabasco: en pro del medio ambiente. *Telos*, *21*(2), 333–346. https://doi.org/10.36390/telos212.05

Menbere, M. P. (2019). Industrial Wastes and Their Management Challenges in Ethiopia. *Chemistry and Materials Research*, 1–6. https://doi.org/10.7176/cmr/11-8-01

Morcillo, M. (2022). El futuro de la energía nuclear y su papel en la transición energética. *Técnica Industrial, ISSN 0040-1838, Nº 333, 2022, Págs. 4-8*, *333*, 4–8. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8745490&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8745490

Nai, C., Tang, M., Liu, Y., Xu, Y., Dong, L., Liu, J., & Huang, Q. (2021). Potentially contamination and health risk to shallow groundwater caused by closed industrial solid waste landfills: Site reclamation evaluation strategies. *Journal of Cleaner Production*, *286*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125402

Negrete-Cardoso, M., Rosano-Ortega, G., Álvarez-Aros, E. L., Tavera-Cortés, M. E., Vega-Lebrún, C. A., & Sánchez-Ruíz, F. J. (2022). Circular economy strategy and waste management: a bibliometric analysis in its contribution to sustainable development, toward a post-COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(41), 61729–61746. https://doi.org/10.1007/s11356-022-18703-3

Njoku, P. O., Edokpayi, J. N., & Odiyo, J. O. (2019). Health and environmental risks of residents living close to a landfill: A case study of thohoyandou landfill, Limpopo province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(12), 10–12. https://doi.org/10.3390/ijerph16122125

Olivares, N., Gómez, S., Contreras, J., & Hernández, G. (2018). Propuesta De Diseño De Una Planta Industrial Para El Tratamiento De Los Residuos Sólidos Urbanos Para El Municipio De Arandas, Jalisco. *Ra Ximhai*, *14*, 2.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2018). *Informe sobre el Desarrollo Industrial 2018. Demanda de manufacturas: Impulsando el desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Resumen.* 48. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-11/IDR2018_OVERVIEW_SPANISH.pdf

Román Brito-Carvajal, J. I. (2021). *Sistema de producción industrial: sostenibilidad y productividad Industrial production system: sustainability and productivity Sistema de produção industrial: sustentabilidade e produtividade*. *6*(9), 2521–2531. https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3193

Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production*, *280*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124339

Scharff, H., & Kok, B. (2007). The role of sustainable landfill in future waste management systems. *Proceedings Sardinia*, *January 1996*, 1–8. http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/618166_Paper.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/D1800ACC-876D-4E26-89E3-A789260C8AF2

Sharkawi, A. E. D. (2015). Recycling Local Industrial Wastes for Production of Green Construction Materials. *Journal of Engineering Research*, *1*(2015), 26–39. https://doi.org/10.21608/erjeng.2015.128166

Siles-Castellano, A. B., López, M. J., López-González, J. A., Suárez-Estrella, F., Jurado, M. M., Estrella-González, M. J., & Moreno, J. (2020). Comparative analysis of phytotoxicity and compost quality in industrial composting facilities processing different organic wastes. *Journal of Cleaner Production*, *252*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820

Sivaram, N. M., & Barik, D. (2018). Toxic waste from leather industries. In *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00005-5

Sundramurthy, V. P., Nithya, T. G., Masi, C., Gomadurai, C., & M. Abda, E. (2021). Recent advances and prospects for industrial waste management and product recovery for environmental appliances. *Physical Sciences Reviews*, *January 2022*. https://doi.org/10.1515/psr-2021-0063

Tait, P. W., Brew, J., Che, A., Costanzo, A., Danyluk, A., Davis, M., Khalaf, A., McMahon, K., Watson, A., Rowcliff, K., & Bowles, D. (2020). The health impacts of waste incineration: a systematic review. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, *44*(1), 40–48. https://doi.org/10.1111/1753-6405.12939

UNEP/OCHA. (2011). *Disaster Waste Management Guidelines.United Nations Office for the coordination of humanitarian affairs, emergency preparedness section UNEP/OCHA, 2011*.

Valdés, A., López, E., & Alonso, A. (2019). Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica. *Universidad y Sociedad.*, *4*, 424–435. https://orcid.org/0000-0002-8503-3025%0Ahttp://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202019000400424&script=sci_arttext&tlng=en

Vallero, D. A., & Shulman, V. (2019). Introduction to Waste Management. In *Waste: A Handbook for Management* (Issue March). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00001-3

Willskytt, S., & Brambila-Macias, S. A. (2020). Design guidelines developed from environmental assessments: A design tool for resource-efficient products. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/SU12124953